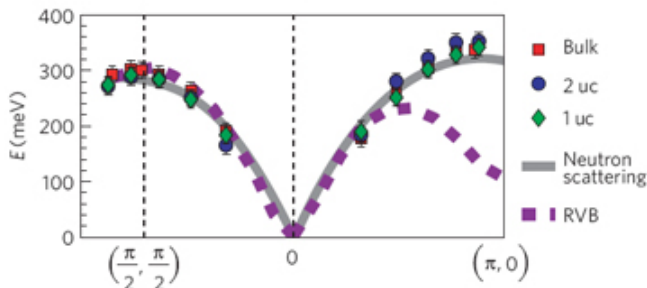


В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Спиновые возбуждения в монослое La_2CuO_4

Купратные высокотемпературные сверхпроводники имеют слоистую кристаллическую структуру. В родительских недопированных соединениях, таких как La_2CuO_4 , слабое межслоевое взаимодействие стабилизирует трехмерный магнитный порядок. А каковы магнитные свойства очень тонких (толщиной всего в одну элементарную ячейку) пленок? С одной стороны, в двумерных системах спиновые флуктуации разрушают дальний порядок. Но с другой – такие пленки все-таки не строго двумерные, а квазидвумерные (одна ячейка La_2CuO_4 содержит две плоскости CuO_2). Поэтому ответ заранее не очевиден. Так как стандартная спектроскопия неупругого рассеяния нейтронов, которая, собственно, и дает нам экспериментальную информацию о магнетизме ВТСП, неприменима к наноразмерным образцам, то для исследования монослоя La_2CuO_4 авторы работы [1] (США, Великобритания, Швейцария, Германия) использовали недавно разработанную методику резонансного неупругого рассеяния рентгеновских лучей. Оказалось, что низкоэнергетические магнитные возбуждения в монослое La_2CuO_4 представляют собой обычные магноны (спиновые волны) – как и в объемных образцах (см. рис.).



Дисперсия магнитных возбуждений в La_2CuO_4 . Представлены результаты для объемных образцов и пленок толщиной в одну и две элементарные ячейки. Приведены также результаты расчетов в рамках модели резонирующих валентных связей (RVB).

Никаких экзотических корреляций типа резонирующих валентных связей обнаружено не было. В то же время при больших энергиях наблюдался магнитный континуум, который не описывается ни теорией спиновых волн, ни какой-либо другой из известных теорий. Не исключено, что он имеет какое-то отношение к механизму спаривания носителей в ВТСП. В связи с этим было бы весьма интересно изучить характер изменения этого континуума при допировании.

Л. Опенов

1. M.P.M. Dean et al., Nature Mater. 11, 850 (2012).

И далее ...

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

2 Квантовая телепортация на Канарах

Квантовые эффекты в термоактивированном скольжении дислокаций

На пути к квантовым интегральным схемам

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

3 Наноструктуры в природе. Мощный “молоток” рака-богомолы

5 Терагерцовые детекторы из графена

ГРАФЕН

5 Низкая термическая устойчивость графена с полной одно-сторонней гидрогенизацией

Экспериментальное определение работы выхода электрона для графена

НАНОМАТЕРИАЛЫ

6 Азотный квадрат

МАГНИТЫ

7 Пламя в магните

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Зависимость силы трения УНТ о графит

ТОРЖЕСТВО

8 Нобелевская премия по физике

КОНФЕРЕНЦИИ

9

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовая телепортация на Канарах

Недавно ПерсТ сообщил [1] о квантовой телепортации фотонных кубитов на расстояние 97 км в открытом пространстве (без использования оптоволоконной линии связи). Еще один эксперимент такого же типа проведен коллективом из Австрии, Герма-

нии и Канады [2]. На этот раз телепортация единичных фотонов была осуществлена между двумя Канарскими островами (La Palma и Tenerife), удаленными друг от друга на 143 км (см. рис.). В принципе нет никаких препятствий для реализации уже в ближайшее время спутниковой квантовой связи, а вслед за ней – и квантового Интернета [3].

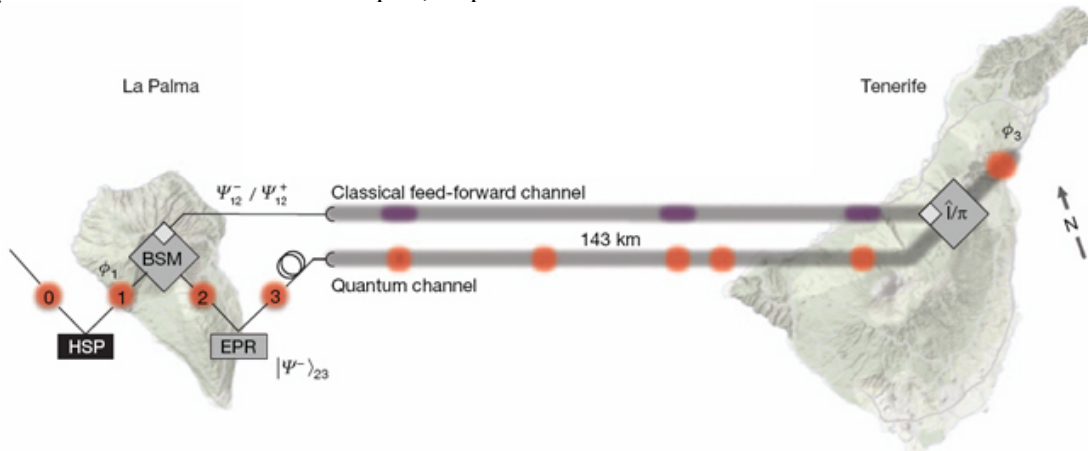
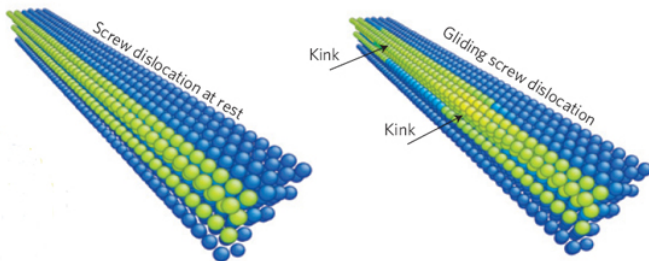


Схема эксперимента. Алиса и Чарли находятся в La Palma, а Боб – в Tenerife. Используя источник единичных фотонов (HPS) и возбуждающий фотон 0, Чарли приготавливает телепортируемый фотон 1. Источник пар фотонов Эйнштейна-Подольского-Розена (EPR) генерирует два перепутанных фотона 2 и 3. Затем Алиса проводит белловское измерение (BSM) фотонов 1 и 2, проектируя их на два из четырех белловских состояний, и сообщает результат Бобу по классическому каналу. Боб выполняет соответствующее унитарное преобразование над фотоном 3, который приходит к нему по квантовому каналу, и тем самым получает реплику фотона 1.

1. [ПерсТ 19, вып. 15/16, с. 3 \(2012\).](#)
2. *X.-S.Ma et al., Nature 489, 269 (2012).*
3. *H.J.Kimble, Nature 453, 1023 (2008).*

Квантовые эффекты в термоактивированном скольжении дислокаций

Пластичность кристаллов определяется движением дислокаций при воздействии механических напряжений. Критическое значение напряжения, при котором возникает пластическое течение кристалла, называется пайерлсовским напряжением [1]. Теоретическая величина пайерлсовского напряжения, определяемая посредством атомистического компьютерного моделирования, более чем в два раза превышает экспериментальную (например, 0,9 ГПа и 0,4 ГПа, соответственно, для ОЦК железа). Причина этого противоречия выявлена в работе [2] французских физиков.



Пайерлсовский механизм скольжения дислокаций. Слева – исходная винтовая дислокация. Справа – иллюстрация скольжения дислокации посредством образования и последующего расширения пары кинков.

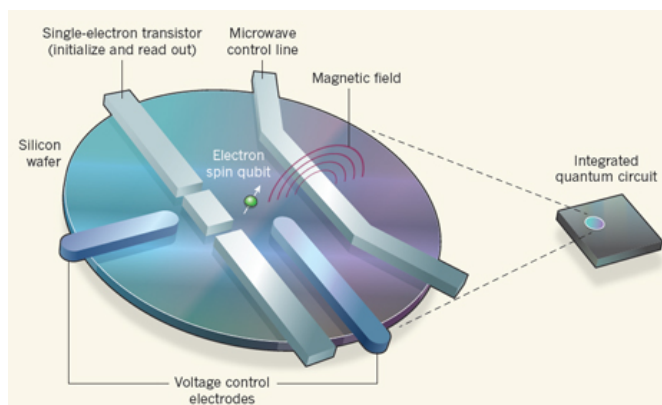
Оказалось, что все дело в квантовых эффектах, а именно – в нулевых колебаниях атомов, которые существенно понижают высоту потенциального барьера для образования на дислокации пары кинков (см. рис.) и тем самым облегчают скольжение дислокаций. Таким образом, сугубо квантовое явление – нулевые колебания – в значительной степени определяет прочность материалов, причем не только состоящих из легких элементов, но и конструкционных, и не только при низких температурах.

1. *R.E.Peierls, Proc. Phys. Soc. 52, 34 (1940).*
2. *L.Proville et al., Nature Mater. 11, 845 (2012).*

На пути к квантовым интегральным схемам

Более 50 лет тому назад кремниевые интегральные схемы революционизировали вычислительную технику. Не исключено, что именно кремний послужит основой и для квантовых компьютеров, способных решать задачи, недоступные для их классических предшественников (такие как, например, факторизация больших целых чисел и моделирование сложных квантовых систем). В работе [1] продемонстрирована возможность управления состоянием электронного спинового кубита в кремнии. Носителем спина служил электрон, локализованный у донорного атома фосфора, имплантированного в кремниевую подложку. Для инициализации и измерения использовался одноэлектронный транзистор, а для поворота спина – переменное магнитное поле (см. рис.). Время декогерентизации составило $\tau \sim 200$ мкс. За такое время удастся выполнить около

тысячи однокубитных операций. Величину τ можно довести до ~ 1 с путем очистки образца от изотопов с ненулевыми ядерными спинами, а длительность одной операции сократить за счет увеличения амплитуды магнитного поля. Тогда количество операций с кубитом за время τ достигнет $\sim 10^9$. Следующим шагом должно стать изготовление двух-, а затем и многокубитных устройств, работа которых будет основана на обменном взаимодействии между электронами доноров, отстоящих на ~ 10 нм друг от друга. Следует заметить, что для нормального функционирования кремниевых “квантовых чипов”, если они будут так созданы, потребуются субкельвинские температуры. Поэтому без громоздкой системы охлаждения здесь не обойтись. Но это пока. А там – кто знает, может, и до квантовых ноутбуков доживем...



Спиновый кубит в кремнии – основа будущих квантовых интегральных схем?

1. J.J.Pla et al., *Nature* **489**, 541 (2012).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Наноструктуры в природе.

Мощный “молоток” рака-богомолы

Композиционные материалы широко используются в разных областях науки, техники, промышленности. До последнего времени их создавали на основе металлов, керамики и синтетических полимеров. И только недавно в центре внимания учёных появились биологические системы и материалы [1]. Многие из них имеют такие механические свойства, как пока не удаётся получить даже для лабораторных образцов композитов. Это удивительно, ведь минералы и полимеры, составляющие основу биологических систем, не обладают особой прочностью. Они возникают в условиях окружающей среды из ограниченного набора элементов, основные из которых С, N, Ca, H, O, Si, P. Уникальные механические свойства биологических материалов, а также их многофункциональность и способность к самозалечиванию обусловлены оригинальным “дизайном”. Биологические организмы создают композиты из органических и неорганических компонен-

тов, иерархически организованных на нано-, микро- и мезоуровнях. Один из ярких примеров – мощный “молоток” рака-богомолы *Odontodactylus scyllarus*. Детальная структура “молотка” и её связь с механическими свойствами изучены в совместной работе учёных из США и Сингапура [2].

Ротоногие ракообразные, или раки-богомолы, принадлежат к древней группе морских хищников. Конечности их пяти передних слившихся с головой грудных сегментов превращены в так называемые ногочелюсти. Вторая ногочелюсть развита особенно сильно – фактически она превращена в мощное оружие. Обычно она согнута под углом и прижата к груди, что делает рака похожим на богомола (отсюда и название). Во время охоты рак-богомол может мгновенно выбросить её вперёд (со скоростью более 20м/сек!). У одних видов конечный сегмент этого оружия заострён как копьё, и им рак-богомол прокалывает добычу, у других утолщён как булава, и ею охотник наносит сокрушительный удар по жертве. Ко второму виду как раз и относится красавец *Odontodactylus scyllarus* (рис. 1 и 2А).



Рис. 1. *Odontodactylus scyllarus*

Рак-богомол *Odontodactylus scyllarus* раскалывает раковины моллюсков и панцири других морских обитателей, нанося удар силой ≥ 700 Н (максимально 1500

Н) [3]. Кроме того, как обнаружили авторы [3], при таком быстром ударе возникают кавитационные пузырьки (рис.2 D-G). Их схлопывание примерно через 0.5мс после первоначального удара приводит к дополнительному воздействию в среднем величиной 350 Н (максимально 500 Н) [3].

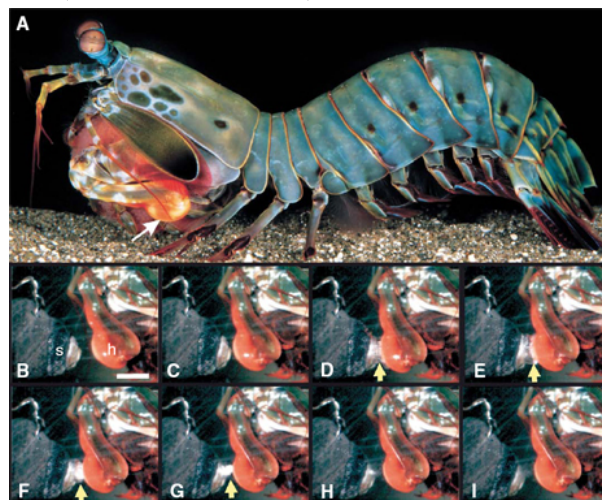


Рис. 2. *Odontodactylus scyllarus* раскалывает раковину улитки (s) [3]. А – внешний вид. Белая стрелка указывает на сложенную конечность. Кавитация показана жёлтой стрелкой (D-G). Изображения получены с интервалом 0.2 мс. Шкала 1 см.

Самое удивительное, что “биологический молоток” (как его называют авторы [2]) при нанесении столь сильных ударов не разрушается, хотя, как посчитали учёные, от линьки до линьки он пускает его в ход в среднем около 50 тысяч раз. Учёные изучили структурные и микромеханические свойства ударной конечности рака-богомла с помощью электронной микроскопии, синхротронной рентгеновской дифракции, наноиндентирования и др. методов [2]. Оказалось, что “молоток” по структурным особенностям можно разделить на три зоны: наружную “ударную”, внутреннюю “периодическую” и боковую “поперечно-полосатую” (рис. 3). Учёные также обнаружили четкую корреляцию между степенью минерализации и твердостью. Наиболее твёрдая – наружная ударная зона. В ней самое высокое содержание фосфора и кальция. Уже на границе с периодической зоной концентрация этих элементов заметно снижается, и начинается рост содержания углерода и магния (рис. 4).

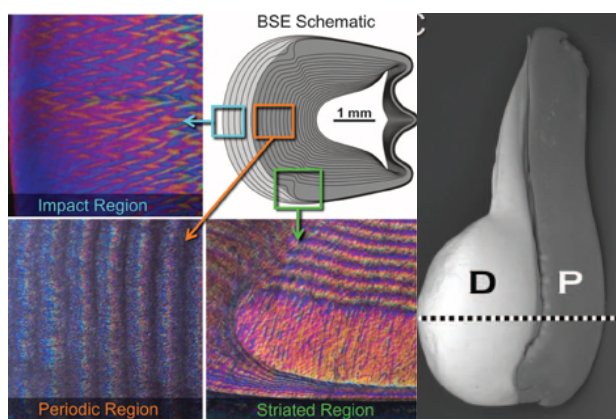


Рис. 3. Изображение “молотка” (сканирующая электронная микроскопия обратного рассеяния), схема сечения и оптические микрофотографии трёх зон.

Основная фаза в ударной зоне – высококристаллический фосфат кальция, точнее гидроксиапатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, причём кристаллографические плоскости (002) преимущественно ориентированы параллельно ударной поверхности. (Гидроксиапатит – важный компонент костей, зубов, рогов). Периодическая зона – биоккомпозит из неорганических и органических компонентов. Неорганическая часть периодической зоны – аморфная фаза из фосфата и карбонатов кальция. (Карбонаты кальция арагонит и кальцит входят в состав раковин, скорлупы, панцирей). Рост содержания магния (рис. 4) подтверждает этот вывод – известно, что магний способствует стабилизации аморфных карбонатов кальция у других ракообразных.

Органический компонент периодической зоны – полисахарид хитин (хитин – основа наружной защитной структуры насекомых и членистоногих). Пластинки из параллельных хитиновых фибрилл повернуты относительно друг друга и образуют специфическую винтообразную структуру (рис.5). В результате минерализации хитина (на нано-, мик-

ро- и мезоуровнях) формируются слои, которые видны и в электронный, и в оптический микроскоп (рис. 3 и рис. 5). Боковая зона кроме этих слоёв содержит пучки параллельных хитиновых волокон (рис. 3). Моделирование методом конечных элементов, выполненное авторами [2], показало, что биоккомпозит периодической зоны, состоящий из минерализованных хитиновых волокон, не только поглощает энергию при ударе, но и не даёт распространяться возникающим трещинам. На рис. 5С видно, что трещины действительно останавливаются в пределах 1-2 слоёв. Пучки волокон в боковой зоне дополнительно повышают жёсткость при сжатии и кручении.

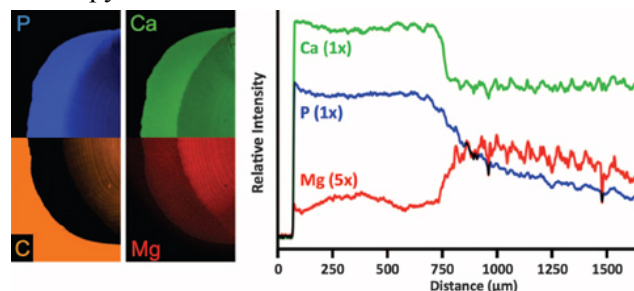


Рис. 4. Распределение элементов в ударной и периодической зонах (энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия).

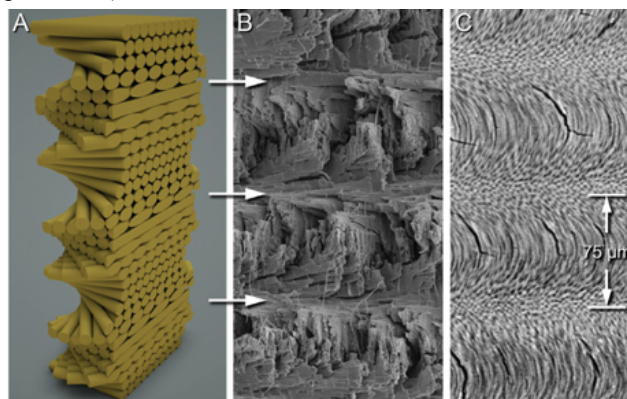


Рис. 5. Винтообразный структурный элемент фибрилл хитина. Модель геликоида (А), SEM изображение (В), на полированной поверхности сечения видны микротрещины (С).

Авторы [2], работающие в Nanyang Technological Univ. (Сингапур), надеются использовать полученные данные для медицины, особенно для разработки биосовместимых прочных имплантатов бедра. До сих пор не удалось создать композиты на основе гидроксиапатита с необходимой прочностью. В центре внимания других авторов этой работы из Univ. of California, Riverside (США), – разработка лёгких и прочных бронежилетов [4]. Возможны и другие применения, например, улучшение материалов для корпуса самолета и кузова автомобиля. В одном авторы единодушны – разгадка секретов структуры “биологического молотка” рака-богомла поможет создать новые композиты, способные выдержать интенсивные периодические нагрузки.

О.Алексеева

1. M.A.Meyers et al., Prog. Mater. Sci. 53, 1 (2008).

2. *J.C.Weaver et al., Science 336, 1275 (2012).*
3. *S.N.Patek. J. Exp. Biol. 208, 3655 (2005).*
4. <http://ucrtoday.ucr.edu/6737>

Терагерцовые детекторы из графена

Благодаря высокой подвижности носителей заряда, бесщелевому спектру возбуждений и не зависящему от частоты коэффициенту поглощения графен представляет собой перспективный материал для детекторов излучения в терагерцовом диапазоне (частоты от сотен ГГц до нескольких ТГц). В статье [1] (Италия, Франция, Великобритания) сообщается об изготовлении терагерцовых детекторов из полевых транзисторов на основе графена. Важным элементом их конструкции является антенна, соединяющая источник с управляющим электродом. Наличие такой антенны приводит к асимметрии взаимодействия источника и стока с электромагнитным излучением. Поэтому осциллирующее электрическое поле терагерцовой волны, воздействуя на область между затвором и каналом, индуцирует постоянное напряжение между электродами источника и стока. Эти детекторы работают при комнатной температуре и уже сейчас могут использоваться в самых различных приложениях.

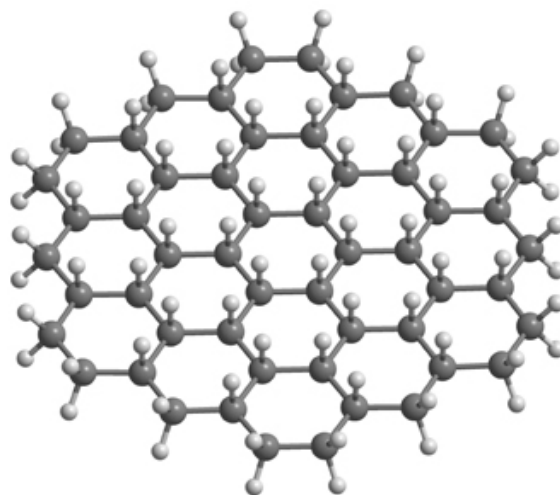
1. L.Vicarelli et al., Nature Mater. 11, 865 (2012).

ГРАФЕН

Низкая термическая устойчивость графена с полной односторонней гидрогенизацией

Если в монослой графена к каждому атому углерода присоединить атом водорода, причем сделать это так, что адсорбированные на разных углеродных подрешетках атомы водорода будут располагаться по разные стороны от плоскости монослоя, то получится графан [1] – диэлектрик с шириной запрещенной зоны $E_g \approx 5$ эВ. Графан может существовать только в “подвешенном” (suspended) состоянии [2], но не на твердой поверхности, что делает его непригодным для реальных практических приложений (например, не удастся изготовить графен-графановые сверхрешетки, в которых наноленты графана играли бы роль потенциальных барьеров для электронов в графене). Альтернативой графану является графен с полной односторонней гидрогенизацией (single-side hydrogenated graphene, SSHG) [3], в котором атомы водорода адсорбированы (как и в графене) на каждом атоме углерода, но (в отличие от графана) только с одной стороны от плоскости графенового монослоя. Величина E_g в SSHG достаточно велика (всего лишь на 1.6 эВ меньше, чем в графене [3]), и он, в принципе, может быть приготовлен на твердотельной подложке. Остается вопрос о его термической устойчивости по отношению к десорбции водорода. Что касается графана, то он достаточно устойчив: энергия активации десорбции довольно велика, $E_a \approx 2.5$ эВ [4], и поэтому графан сохраняет свою кристаллическую (а значит,

и электронную) структуру вплоть до температур, значительно превышающих комнатную [2]. Атомистическое компьютерное моделирование термической устойчивости SSHG (см. рис.) показало, что в нем величина E_a гораздо меньше, около 0.75 эВ, в результате чего при $T = 300$ К десорбция водорода из SSHG происходит практически мгновенно, за время ~ 1 мс [5]. Таким образом, SSHG хоть и представляет интерес с фундаментальной точки зрения, абсолютно не годится для практических целей.



Кластер $C_{54}H_{72}$, использованный в [5] для численного моделирования термической устойчивости графена с полной односторонней гидрогенизацией. Большие и маленькие шарики – атомы углерода и водорода, соответственно.

Л.Опенев

1. *Phys. Rev. B 75, 153401 (2007).*
2. *Science 323, 610 (2010).*
3. *Phys. Rev. B 84, 041402 (2011).*
4. *Письма в ЖТФ 36, 69 (2010).*
5. *ЖТФ 82, 140 (2012).*

Экспериментальное определение работы выхода электрона для графена

Для того чтобы разобраться в особенностях поведения графена в качестве элемента будущих наноэлектронных устройств, необходимо иметь информацию о таких параметрах графена, как тип, подвижность и концентрация носителей, ширина запрещенной зоны, а также работа выхода электрона. Известно достаточно большое число публикаций, содержащих результаты измерений и расчетов первых трех из перечисленных параметров. В то же время данные о работе выхода электрона для графена имеют скорее косвенный характер и основаны преимущественно на оценках с использованием соответствующих параметров для кристаллического графита. Особое значение имеет величина работы выхода электрона для графена, находящегося на металлической подложке, ибо именно такая конфигурация рассматривается во многих схемах различных наноэлектронных устройств с участием графена. В такой системе работа выхода электрона для графена определяет величину контактного сопро-

тивления гетероперехода и, в конечном счете, эффективность рассматриваемого прибора. Недавно исследователям из Korea Advanced Inst. Science Technology (Южная Корея) [1], удалось выяснить, что величина работы выхода электрона зависит от типа металла, на поверхность которого помещен образец графена.

Графен в виде квадрата со стороной 0.5 мм был выращен стандартным методом химического осаждения паров в индуктивно связанной плазме (ICP-CVD) с использованием в качестве подложки тонкой медной пленки, после чего этот образец был перенесен на SiO₂/Si подложку. При измерениях работы выхода электрона использовали конфигурацию металл-графен-оксид-полупроводник (МГОП), согласно которой на образец графена, помещенный на SiO₂/Si подложку, наносили пленку металла (Cr/Au толщиной 5/100 нм; Ni толщиной 50 нм; Au толщиной 100 нм или Pd/Au толщиной 20/80 нм). Работу выхода электрона определяли на основании результатов измерений зависимостей емкости от напряжения, проводимых при комнатной температуре в атмосфере воздуха.

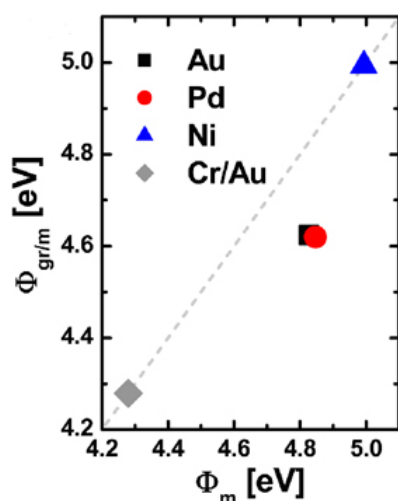


Рис. 1. Работы выхода электрона для образцов графена, находящихся в контакте с различными металлами

Результаты обработки измерений показаны на рис. 1. Как видно, работа выхода графена в контакте с пленкой Ni совпадает с соответствующей величиной для Ni (~ 5 эВ), в то время как работы выхода для графена в контакте с Pd или Au не связаны с этими параметрами для указанных металлов. Отсюда следует, что электронное взаимодействие графена с Ni более сильное, нежели с другими металлами. В силу этого взаимодействия графен в контакте с Ni практически теряет свои индивидуальные особенности. Как было указано выше, величина работы выхода электрона для графена в контакте с металлической поверхностью определяет величину контактного сопротивления графен/металл. Это подтверждается результатами прямых измерений, которые показаны на рис. 2.

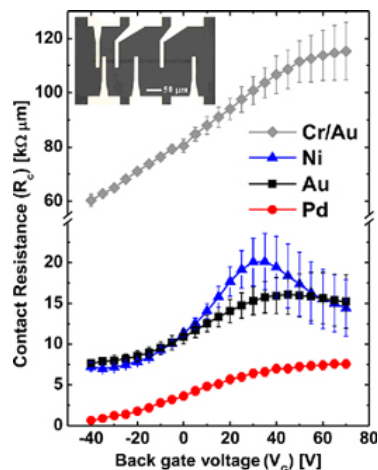


Рис. 2. Зависимости сопротивления контакта металл/графен от затворного напряжения, измеренные для различных металлов.

А.Елецкий

1. S.M.Song et. al., Nano Lett. 12, 3887 (2012).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Азотный квадрат

Немолекулярный азот всегда находился под пристальным вниманием исследователей. Ведь метастабильные азотные кластеры и их ансамбли – это абсолютно новый класс энергоемких веществ (HEDM – High Energy Density Materials), способный запасать в 3–4 раза больше энергии, чем лучшие химические энергоносители. Однако проблема получения таких соединений до сих пор остается неразрешенной. Более или менее успешные экспериментальные результаты получены лишь методом сжатия молекулярного азота при экстремально высоких давлениях. Казалось бы, прогнозы неутешительны, но исследователям из Австралии удалось сделать шаг вперед и совсем близко подобраться к синтезу малого атомного кластера – колечка N₄ [1]. Они, в отличие от своих предшественников, выбрали несколько иной способ получения кластерных азотных соединений – химические реакции. Обработка трифенилфосфина (Ph₃P) концентрированным раствором диизопропилазодикарбоксилата в присутствии толуола или тетрагидрофурана в диапазоне температур 0–25°C привела к формированию молекулярной структуры образованной четырехчленным азотным кольцом (тетразетидином). Дальнейшие комбинированные экспериментально-теоретические исследования (электронный парамагнитный резонанс и квантовохимические расчеты в рамках теории функционала плотности) подтвердили, что полученное химическое соединение действительно содержит “азотный квадрат” N₄ (см. рис.). Более того, молекула оказалась достаточно стабильной для того, чтобы ее можно было идентифицировать в течение 3 ч после синтеза даже при комнатной температуре. Авторы можно поздравить. Они предложили доступный метод получения соединений, содержащих азотное четырехчленное

кольцо. Хочется верить, что еще немножко и удастся, отщипнув ненужные радикалы, выделить кластер в чистом виде. А там и до кубана N₈ рукой подать.



Структура молекулярного соединения, содержащая азотное четырехчленное кольцо: синим цветом обозначены атомы азота, красным цветом – атомы кислорода, темно-серым – атомы углерода и светло-серым – атомы водорода.

М.Маслов

I. D. Camp et al., J. Am. Chem. Soc. 134, 16188 (2012).

МАГНИТЫ

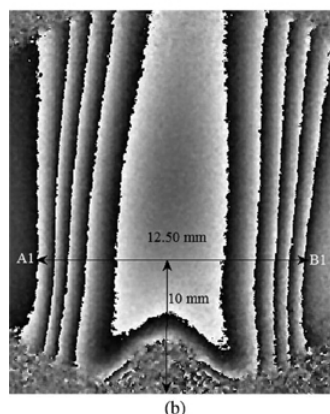
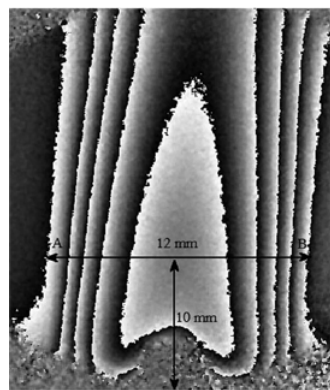
Пламя в магните

Майкл Фарадей, демонстрировавший загадки пламени школьникам на своих знаменитых “фарадеевских” лекциях, оставил в наследство немало загадок и для вполне состоявшихся исследователей. Именно он впервые поставил вопрос о том, почему магнитное поле влияет на горение свечи [1]. Многолетние соревнования интерпретаторов в теоретическом описании этого явления так и не позволили дать исчерпывающий ответ на этот вопрос. Таким же трудным он оказался и при рассмотрении влияния электрического поля на горение (электрическое поле напряженностью 3 кВ/см оказывает влияние на пламя, аналогичное магнитному полю 1 Тл).

Газодинамические премудрости потоков заряженных ионов, сила Лоренца, магнитные (кстати, тоже фарадеевские) силы и другие факторы были рассмотрены множество раз. Однако сама постановка эксперимента отличается от исследования к исследованию. Такие факторы, как неоднородность магнитного поля, влияние пламени на намагничивание полюсов и прочие артефакты давно засорили накопленный экспериментальный материал, не давая в нем разобраться ясному уму. Поэтому переоткрывая старое новое, в [2] были выполнены изящные современные исследования этого старого вопроса. “Регламентированное” горение достигалось в аккуратном устройстве, обеспечивающем воспроизводимое устойчивое ламинарное горение этиленовых паров. Самый скользкий вопрос о регистрации пламени и определении его характеристик (раньше это делалось преимущественно “на глаз”) был решен с помощью цифровой голографической интерферометрии. Этот экспериментальный метод позволял

ПерСТ, 2012, том 19, выпуск 19

получать распределение температуры пламени в виде карты фазового контраста (рис.1). Отсутствие линз в устройстве (а значит и абберационных искажений), а также высокочувствительные цифровые датчики позволяли добиться высокой контрастности голографического изображения. Материал полюсных наконечников магнита был специально подобран так, чтобы возможные вариации температуры оставляли без изменения магнитное поле, которое, во избежание множественности толкований, было просто однородным.



Карта разности фазовых контрастов воздуха без пламени и с пламенем в отсутствие магнитного поля (а) и в магнитном поле 0.35 Тл (б).

В результате было достоверно установлено, что в магнитном поле температура пламени повышается, а само пламя становится шире (см. рис.). Авторы [2] полагают, что роль магнитного поля сводится к тому, что оно притягивает парамагнитный кислород и отталкивает остальные диамагнитные продукты горения. При этом облегчается приток кислорода к продуктам горения и интенсифицируется окисление органических молекул.

Однако эти выводы требуют уточнения данных о магнитных свойствах продуктов и реагентов горения. Таким образом, даже, казалось бы, простой (не квантовый и не космический) объект исследования – пламя не так уж легко поддается объяснению.

О.Коплак

1. M.Faraday, “On the diamagnetic conditions of flames and gases,” London Edinburgh Dublin Philos. Mag. J. Sci. 31, 401 (1847).

2. Sh.Sharma et al., Appl. Optics 51, 194554 (2012).

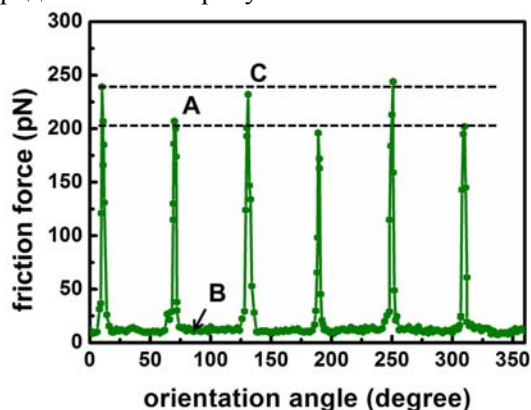
ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Зависимость силы трения УНТ о графит

Углеродные наноструктуры (УНС), такие как фуллерен, нанотрубка (УНТ) и графен, рассматриваются в качестве элемента наноэлектромеханических систем (НЭМС) – устройств, преобразующих электрическую энергию в механическую и наоборот. Такая возможность связана, в том числе, с низким коэффициентом трения, характеризующим такие структуры. Поскольку при трении одного объекта

нанометрового размера о другой площадь контакта может быть настолько мала, что в трении участвует лишь ограниченное число атомов, входящих в рассматриваемую структуру, то можно ожидать, что коэффициент трения таких объектов зависит от их относительной ориентации. Подобная зависимость, с одной стороны, должна учитываться при разработке НЭМС, а с другой стороны – может быть использована для определения атомной структуры объекта. В экспериментальной работе [1] группе тайваньских исследователей удалось установить зависимость коэффициента трения УНТ о поверхность графита от взаимной ориентации.

При проведении эксперимента использовали атомно-силовой микроскоп (АСМ), оснащенный поворотным устройством, позволяющим изменять угол ориентации зонда относительно подложки с шагом 0.007° . В качестве зонда использовали стандартный пирамидальный АСМ-зонд, на котором под некоторым углом к оси укреплен углеродная нанотрубка. Наконечник, в свою очередь, прикреплен к кантилеверу прямоугольной структуры длиной 90 мкм, шириной 35 мкм и толщиной 1 мкм. Поперечная силовая константа этого кантилевера составляет 4.221 Н/м, в то время как константа на изгиб равна 0.618 Н/м. В качестве подложки использовали кристалл высокоориентированного пиролитического графита, имеющий разброс в ориентации графитовых слоев менее 1° . Эксперименты по измерению силы трения проводили при нагрузке от 5 до 10 нН. УНТ, прикрепленная к АСМ-зонду, двигалась по поверхности графита со скоростью около 140 нм/с при различных углах ориентации нанотрубки. Типичные результаты измерений, полученные в условиях низкой (6%) влажности при нагрузке 10 нН, представлены на рисунке.



Зависимость силы трения УНТ о поверхность графита от угла ориентации, полученная в условиях низкой (6%) влажности.

Как видно, зависимость силы трения УНТ о поверхность графита имеет ярко выраженный резонансный характер. Эта зависимость имеет периодическую структуру с периодом 60° , что соответствует гексагональной симметрии поверхности графита. Обработка полученных зависимостей позволяет оценить

площадь контакта поверхностей УНТ и графита, равную примерно 8 нм^2 . Это соответствует примерно 150 элементарным гексагональным ячейкам.

Исследования показали, что характер зависимости силы трения от угла ориентации существенно изменяется по мере увеличения влажности воздуха. Рост влажности сопровождается повышением силы трения и снижением степени регулярности указанной зависимости. При относительной влажности воздуха, превышающей 40%, зависимость силы трения от угла ориентации приобретает случайный характер, что связано с образованием мономолекулярного водяного слоя на поверхности контакта.

А.Елецкий

1. W.-C. Chang et al., Appl. Phys. Lett. 101, 063109 (2012).

ТОРЖЕСТВО

Нобелевская премия по физике

Почетную награду по физике получили француз Серж Арош (Serge Haroche) и американец Дэвид Джей Уайнленд (David J. Wineland) “за новаторские экспериментальные методы, позволяющие измерять и манипулировать отдельными квантовыми системами”. Список номинантов традиционно держался в секрете. Тем не менее, СМИ называли наиболее вероятными претендентами ученых, которым в начале июля сего года удалось обнаружить новую субатомную частицу, соответствующую параметрам бозона Хиггса. Однако это пока не значит, что именно она является той самой “частицей Бога”, за которой уже несколько лет идет охота. Но... победила квантовая физика.

Серж Арош – французский физик, профессор Коллеж де Франс, работал в Стэнфордском и Гарвардском университетах, Массачусетском технологическом институте. В 1996 г. Арош и его коллеги провели экспериментальные наблюдения квантовой декогеренции. В 2009 г. физик получил золотую медаль Национального центра научных исследований Франции. Дэвид Уайнленд – американский физик, работающий в Национальном институте стандартов и технологии (NIST) США. В 1978 г. Уайнленд впервые продемонстрировал технологию лазерного охлаждения ионов. Работы Уайнленда, в частности, заложили основы технологии создания атомных часов - устройств для измерения времени, роль “маятника” в которых играют атомы. Частота излучения атомов при переходе их с одного уровня энергии на другой регулирует ход квантовых часов.

Лауреатам удалось сделать невозможное – манипулировать отдельными частицами света и материи: ионами и квантами. Кроме того, они могут изучать их, контролировать и подсчитывать. И при этом не разрушать их. До сих пор это было необычайно сложной процедурой: ведь отдельные частицы не так просто выделить из окружающей среды, и они

теряют почти все свои свойства, соприкасаясь с внешним миром. Но физикам удалось, независимо друг от друга, разработать оригинальные методы – разные, но имеющие много общего. Уайнленд ловил электрически заряженные атомы или ионы с помощью света, или фотонов. А Арош наоборот – ловил фотоны, через которые проходили атомы. “Они открыли дверь в новую эру экспериментов в квантовой физике”, – сказано в официальном сообщении Нобелевского комитета.

В будущем исследования лауреатов позволят создать удивительное устройство – квантовый компьютер, работающий по законам той самой квантовой физики. Он сможет производить вычисления и обрабатывать информацию практически мгновенно. Такой компьютер будет оперировать не битами, а кубитами (кубит – единица квантовой информации, “квантовый бит”), в которых хранится не двоичная система “0” или “1”, а их суперпозиция – некое наложение состояний. Это фантастически увеличит вычислительную мощность: по сравнению с нынешними компьютерами – в 10 в 80-й степени раз!

На очереди – более точные приборы – к примеру, для измерения гравитации и гравитационного поля. Или для улавливания очень слабых магнитных полей, которые генерирует мозг.

КОНФЕРЕНЦИИ

Семинар по физике конденсированного состояния, 17 октября 2012 г.

(17.00, многофункциональный зал библиотеки физического факультета МГУ, 5 этаж)

Захарий Фишелевич Красильник (Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород)
“Кремниевые светоизлучающие наноструктуры”

Пропуск на физический факультет слушателей семинара будет осуществляться по предъявлению паспорта. Предварительная запись на семинар на сайте <http://nano.msu.ru/education/seminars> (до 15:00 дня семинара).

Для расширения возможностей участия в семинаре предполагается обеспечить прямую он-лайн трансляцию заседаний через сайт <http://nano.msu.ru/video.php>

Дополнительная информация:

тел. +7(495)939-1151

E-mail: khokhlov@mig.phys.msu.ru

V Всероссийская конференция молодых ученых “Микро-, нанотехнологии и их применение” имени Ю. В. Дубровского, Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, 19-22 ноября 2012 г., г. Черноголовка

Тематика конференции

- микро- и нанотехнологии;
- полупроводниковые, магнитные и сверхпроводящие наноструктуры;
- сканирующая зондовая микроскопия (электронная, атомно-силовая, туннельная, рентгеновская);
- рентгено-оптика;
- физические явления в наноструктурах.

Важные даты

Регистрация и представление тезисов участников - **02.11.2012г.**

Сайт: <http://purple.iptm.ru/sci-conf/nanomicro2012.htm>

International Workshop on Non-equilibrium dynamics in strongly correlated materials (NONEQ2013), 18-21 February 2013, Ruhr-Universitaet Bochum, Germany

The workshop will focus on the ultrafast dynamics of strongly correlated systems ranging from Mott insulators to unconventional superconductors. The goal of the meeting is to present the state of the art in experimental investigation and theoretical understanding of strongly excited states far from equilibrium. With the above goal we plan to have an exchange of ideas between experimental and theoretical approaches which are used to investigate the excited state, its relaxation, and in particular the interactions that mediate this relaxation in Mott insulators and High- T_c superconductors. Our goal is to bring together leading experimental and theoretical experts working in this field, and have an open and constructive discussion about recent developments and open questions in this rapidly developing branch of experimental and theoretical condensed matter physics.

Deadline for abstract submission is **November 1, 2012**; for registration **December 21, 2012**

Web: <http://nonequilibrium2013.tu-dortmund.de>

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой ИФТТ РАН и НИЦ “Курчатовский институт”

Главный редактор: И.Чугуева, e-mail: irina@issp.ras.ru

Научные редакторы: К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, А.Елецкий, О.Коплак, М.Маслов, Л.Опенос

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64^а